

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—146770

⑤ Int. Cl.³
B 25 J 3/04

識別記号

庁内整理番号
7632—3F

⑬ 公開 昭和59年(1984)8月22日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 10 頁)

⑭ マニピュレータの動作範囲制限装置

⑯ 発明者 笠井増雄

⑰ 特 願 昭58—17478

⑱ 出 願 昭58(1983)2月7日

⑲ 発明者 鈴木正憲

日立市森山町1168番地株式会社
日立製作所エネルギー研究所内

日立市森山町1168番地株式会社
日立製作所エネルギー研究所内

⑳ 出 願 人 株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内1丁目5
番1号

㉑ 代理人 弁理士 秋本正実

明 細 書

発明の名称 マニピュレータの動作範囲制限装置

特許請求の範囲

1. 互いに対応する関節を有する多関節型のマスタ側マニピュレータ及びスレーブ側マニピュレータの、各関節の位置を示す位置信号のうちマスタ側関節の位置信号を目標信号としてスレーブ側関節の各々が対応するマスタ側関節の各々に追随するように制御するためのスレーブ側サーボ機構と、対応する関節に印加された外力を示す力信号の偏差を入力としてスレーブ側関節の各々に印加された外力が対応するマスタ側関節の各々に伝達されるように制御するマスタ側サーボ機構とを備えたマニピュレータの動作を、所定の範囲内に制限するための装置に於て、マスタ側関節とそれに対応するスレーブ側関節の1組または複数組の位置信号の一方または双方を入力位置信号とし、該入力位置信号に対応した動作範囲を定める上限値及び下限値をその内部に格納し、かつ該上限値及び下

限値のいずれかを上記入力位置信号がこえた時に対応する上限もしくは下限切換信号をオンとするところの動作範囲検出手段と、上記上限及び下限切換信号がともにオフの時には上記目標信号をサンプリング時毎に更新しながら記憶し、上記上限もしくは下限切換信号の1つがオンになつた場合には該オンになつた時点より直前のサンプリング時に記憶した目標信号をホールドして上記スレーブ側サーボ機構の目標信号として出力するところの位置信号切換手段と、上記上限もしくは下限切換信号がオンとなつた時に上記入力位置信号を上記動作範囲内へ戻すような方向の反力信号を発生するための反力発生手段と、上記切換信号のいずれかがオンになつた時に前記力信号の偏差に代つて上記反力信号を上記マスタ側サーボ機構へ入力として与えるための力信号切換手段とから成る制御系を、マスタ側及びスレーブ側の対応関節毎に1組ずつ設けたことを特徴とするマニピュレータの動作範囲制限装置。

発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明はマニピュレータの動作範囲制限装置に係り、特に原子力発電プラントなどにおける、人の近接が困難な作業を遠隔操作で実施するためのマスタ・スレーブマニピュレータの動作を、操作性を損うことなく適切な範囲に制限できる動作範囲制限装置に関する。

〔従来技術〕

マニピュレータの腕は、周知のように関節によつて駆動されるが、その動作範囲は、腕がマニピュレータの他の機構部や他物体に衝突しないように制限される必要がある。このためのマニピュレータ関節の動作範囲制限機構の従来例としては、例えば特開昭53-17880がある。この機構は、腕の関節角を制御する位置制御系の中で、動作範囲の境界値を示す位置信号と腕の関節角の目標信号を比較して、もし目標信号がその境界値を超えた場合に、目標信号を現在の値に保持し、腕の関節角を現在位置に停止するように位置制御するものである。しかし、この方法では、腕の関節を再

び動作範囲に復帰させて正常に動作させるための機構が備わっていないため、関節角が動作範囲外に動いたとき、その復帰が困難であるという問題点がある。

また、操作員の手動操作によるマスタマニピュレータの動きに応じてスレーブマニピュレータが遠隔操縦されるように構成されたマスタ・スレーブ方式のマニピュレータの場合には、スレーブマニピュレータの関節状態が動作範囲外に入つたとき、それを制御コンソール上のランプ等で操作員に教示する方法が知られていた。しかし、この方法では操作員がマスタマニピュレータの先端をもつて操作している関係上、どの方向に動かせば、関節が動作範囲内に復帰するのかわかりにくいという問題点があつた。特に2つ以上の関節が動作範囲外に入つた場合、動作範囲内への復帰が非常に難しくなり、この問題は一層深刻になる。同時に、操作員が一時遠隔操作による作業を中断し、作業対象から制御コンソール上のランプ等に視線を動かさねばならず、操作性が悪いという欠点がある。

あつた。

〔発明の目的〕

本発明の目的は、マニピュレータの腕の関節角が、あらかじめ設定された動作範囲外に入つたとき、これを容易に、かつ速やかに動作範囲内に復帰させることのできるマスタ・スレーブ方式のマニピュレータの動作範囲制限装置を提供することにある。

〔発明の概要〕

本発明は、いずれかのマニピュレータの腕があらかじめ設定された動作範囲を超えた瞬間に、スレーブマニピュレータをその位置に停止させると同時に、人間が操縦するマスタマニピュレータを動作範囲内の方向へ動かせるトルクを発生する機能を付加し、このトルクを操作員が衝撃力として感じることににより動作範囲をこえた関節とその復帰のための操作方向を容易に感知できるようにし、これによつて各関節の動作範囲内への復帰を容易にしたことを特徴とするものである。

〔発明の実施例〕

以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。

第1図は本発明を適用するマスタ・スレーブマニピュレータの全体構成を示したものであり、互いに相似な形状のマスタマニピュレータ1及びスレーブマニピュレータ2と、制御装置3とモニタテレビ4とから構成される。マニピュレータ1、2は、人間の腕に類似した構造であり、それぞれ、ベース部11、21と、ベース部の一端にある肩関節12、22でベース部11、21に連結された上腕13、23と、上腕13、23の一端にある肘関節14、24で上腕13、23に連結された前腕15、25と、前腕の先端にある手首関節16、26とを有する。マスタマニピュレータ1のベース部11はその上端が架台10に連結されており、スレーブマニピュレータ2のベース部21はその下端が走行車20に連結されている。マスタの手首関節16には、指部を含んだハンドル17が連結されている。スレーブ手首関節26には、指部27が連結されている。マニピュレータ1及び2は、第1図の矢印及び表1に示すよう

表 1	動作箇所	マスタ	スレーブ
I	ベース回転	M ₁	S ₁
II	(肩関節を中心とした) 上腕振り	M ₂	S ₂
III	(肘関節を中心とした) 前腕振り	M ₃	S ₃
IV	手首上下振り (PITCH)	M ₄	S ₄
V	手首左右振り (YAW)	M ₅	S ₅
VI	手首回転 (ROLL)	M ₆	S ₆
VII	指関節 (TONG)	M ₇	S ₇

き、この動きに伴つてスレーブマニピュレータ2の各関節が、マスタマニピュレータ1の各関節に追従する。この結果、マスタマニピュレータ1とスレーブマニピュレータ2の各関節姿勢は互いに相似な形状を保持されるので、操縦者5は、マスタマニピュレータの姿勢から、スレーブマニピュレータの姿勢を直感的に知ることができる。同時に、外部からスレーブマニピュレータ2に加わっている力が、力センサ等によつて検出され、マスタマニピュレータ1の各関節を駆動するモータにフィードバックされるので、各関節には、外力に応じた反力が発生する。その結果、操縦者5は、スレーブマニピュレータ2に加えられる力を感じとりながら操縦できる。

以上のような動作を実現するための関節の制御機構は、第2図に示されるように、マスタとスレーブの互に対応する一関節系毎に独立に制御される。すなわち、マスタマニピュレータ1側のマスタベース回転用モータ31a、位置検出器41a、力検出器51aと、スレーブマニピュレータ2側

な、M₁～M₇及びS₁～S₇の7自由度を有している。すなわち、M₁(S₁)は、ベース部11(21)がその中心軸の回りに架台10(走行車20)に關して相対的に回転する動作を表わし、M₂, M₃(S₂, S₃)は、上腕13(23)、前腕15(25)が肩関節12(22)、肘関節14(24)を中心に鉛直面内に回転する動作をそれぞれ表わす。また、M₄, M₅, M₆(S₄, S₅, S₆)は、指部17(27)が手首関節16(26)に対して任意の姿勢をとることができるような回転モードを表わす。M₇(S₇)は、物を把持するための指の開閉動作を表わす。

このようなマニピュレータの操縦方法及び動作の概要は次の通りである。操縦者5は、モニタテレビ4に写るスレーブマニピュレータ2の映像をみながら、マスタマニピュレータ1を操作することによつて、スレーブマニピュレータ2を位置制御する。すなわち、操縦者5は、ハンドル17を握つて、マスタマニピュレータ1の先端を動かすことにより、マスタマニピュレータの各関節が動

のスレーブベース回転用モータ31b、位置検出器41b、力検出器51bと、制御装置3内のサーボ演算器61とから、ベース回転の関節系の制御機構が構成される。以下、同様にマスタ側のマスタ肩関節用モータ32a、位置検出器42a、力検出器52aと、スレーブ側のスレーブ上腕振り用モータ32b、位置検出器42b、力検出器52bと、制御装置3内のサーボ演算器62とから上腕振り用関節系が構成され、マスタ側のマスタ指開閉用モータ37a、位置検出器47a、力検出器57aと、スレーブ側のスレーブ指開閉用モータ37b、位置検出器47b、力検出器57bと、制御装置3内のサーボ演算器67とからなる指開閉関節系に至るまで同様な構成である。これらの関節制御系は、第1図に示される如く外見は異なるが、その制御の基本となるサーボ機構は同一である。

本発明の動作範囲制御装置は、上記のサーボ演算器61～67内に組込まれるが、どの関節系も同様であるので、ここでは第3図に示されるべ-

ス回転用一関節系の実施例によつて説明する。第3図に於て、マスタ側機構部は、図示されていない減速機を含んだ伝達機構によつて、関節軸に連結されたモータ31aと、関節軸に加えられる軸回りのトルクを検出する力検出器51aと、関節軸の回転角を検出する位置検出器41aとで構成される。また、スレーブ側の機構部は、マスタ側と同様の構成をしており、モータ31b、力検出器51b、位置検出器41bを有する。これらの各機構部以外の第3図の回路がサーボ演算部61に属する部分であつて、力検出器51a、51bの出力信号203、204の差を算出する減算器113と、スレーブの位置目標信号209と現在位置信号201とを減算する減算器114と、PID制御回路115と、マスタ側及びスレーブ側のモータを駆動するアンプ116a、116bと、本発明を構成する動作範囲制限回路127(一点鎖線内)とから構成される。動作範囲制限回路127は、動作範囲検出回路117とゲート回路118の反力発生回路119と、反力

発生回路119の出力信号210と力偏差信号205とを切換えるスイッチ120aと、マスタ現在位置信号200とスレーブ目標信号をラッチした信号209bを切り換えるスイッチ120bと、スレーブ目標信号209をラッチするラッチ回路121とから構成されるものである。

動作範囲検出回路117は、第4図に示されるように動作範囲の上限を規定するメモリ122aと、その下限を規定するメモリ122bと、このそれぞれのメモリから出力される上限信号211と下限信号212とマスタ現在位置信号200とをそれぞれ比較する比較器123a、123bとから構成される。反力発生回路119は、第5図に示されるように動作範囲内の方向に働く反力の大きさを規定するメモリ124a、124bと、それぞれの出力信号213、214の出力をオンオフするスイッチ125a、125bと、このスイッチの出力信号を加算する加算器126とから構成されるものである。

以下第3～第5図に示した関節系の動作を、最

初に力増強型バイラテラルサーボ系の動作から説明する。マスタ側の関節角の位置とスレーブ側の関節角の位置は、それぞれの位置検出器41a、41bによつて現在位置信号200、201として検出され、減算器114を介して位置偏差信号202に変換される(この時120bは信号200を選択)。位置偏差信号202は、PID制御回路115と増幅器116bを経て、モータ31bに入力される。そうするとモータ31bが回転して位置信号201が変化し、結局位置偏差信号202が0になるように制御される。従つて、操作員がマスタ側関節を操作すると、スレーブ側関節はマスタ側関節に追従して動くように位置制御される。

同時に、マスタ側及びスレーブ側に外部から加えられている力は、それぞれの力検出器41a、41bによつて現在トルク信号203、204として検出され、減算器113を介してトルク偏差信号205に変換される。トルク偏差信号205は、スイッチ120a及び増幅器116aを経て

モータ31aに入力される。従つて、モータ31aは、トルク偏差信号205が0になるように制御される。この結果、外部からスレーブ側に加えられた力が、マスタ側に伝達され、操作員はスレーブ側に加えられている力を反力の形で感じとることができる。

次に、本発明の主要部をなす動作範囲制限装置の動作を説明する。マスタ側関節角の動作範囲の上限及び下限(各々動作範囲の境界値)をあらかじめ第4図の各々のメモリ122a、122bに書き込んで置き、その出力信号211、212を比較器123a、123bに入力し、かつマスタ側関節の現在位置信号200を各々の比較器123a、123bに入力する。マスタ側現在位置信号200が上限信号211より大きい場合には、比較器123aの論理信号206は1になる。それ以外の場合は0のままである。同様にマスタ側現在位置信号200が下限信号212より小さい場合には比較器123bの論理信号207は1になり、それ以外の場合は0のままである。これ

らの論理信号206, 207は、第5図に示す反力発生回路に入力され、マスタ側関節が動作範囲内にあるときには、反力信号213, 214を遮断するスイッチ125a, 125bのゲート信号に用いられる。また、論理信号206と207は第3図のオフ回路118を介して、スイッチ120a, 120bのゲート信号208として用いられる。もし、マスタ側関節角が動作範囲内にあるときは、動作範囲検出回路117の出力である論理信号206, 207は前述のように共に0状態にあり、オフ回路118の出力であるゲート信号208も0状態になり、スイッチ120aは、トルク偏差信号205をその出力信号215とし、かつスイッチ120bはマスタ現在位置信号200をその出力であるスレーブ目標位置信号209とする。この結果、全体のサーボ系としては、前述の力増強型バイラテラルサーボ系が構成され、マニピュレータは通常操作状態になる。しかし、もしマスタ側関節が動作範囲の上限を越えたときには、論理信号206が1になり、ゲート信号208

も1状態になる。このとき、スイッチ120bは、マスタ現在位置信号200を切り離し、ラッチ回路121の出力信号209bを出力する。この出力信号209bは、マスタ関節が動作範囲外に入る直前のスレーブ目標位置信号209の値をラッチしたものであり、マスタ関節が動作範囲内に戻されてゲート信号208が0になるまでスレーブ目標位置信号209として出力されるので、スレーブ側関節が現在位置(マスタ関節が動作範囲外に入る直前の位置)に停止するように位置制御され、スレーブ関節は動作範囲外へ出ることはない。同時に、論理信号206が1になつていたので、反力発生回路119内のスイッチ125aがオン状態となり(第5図)、反力指令信号213が、加算回路126を経て、反力発生回路119の出力信号210として出力される。そしてスイッチ120aは、ゲート信号208が1になつていないことにより、トルク偏差信号205を切り離し、反力指令信号210をトルク指令信号215として出力する。この結果、マスタ側モータ31aは、

再びマスタ側関節が動作範囲内に入るまでの間、動作範囲内の方向に一定トルクが発生するように制御される。従つて、操作員はこのトルクを感知することによつて容易に復帰方向の操作(例えば力をゆるめてトルクにより自然に動く方向へ動かしておく)を行える。マスタ側関節が、動作範囲の下限をこえたときも全く同様に処理されるので説明は省略する。

本実施例によれば、マスタ側関節角で規定された動作範囲外へマスタ側関節が入つた場合に、スレーブ側関節は所要の動作範囲外へ動くことは自動的に防止され、かつマスタ側関節の動作範囲内への復帰操作も容易に行えるという効果がある。また、本発明の一変形例として、第4図に示す動作範囲検出回路117の入力信号として、マスタ側関節の現在位置信号200の代りに、スレーブ側関節の現在位置信号201を用いるように構成しても同様の効果が得られる。

第6図は、第3図の動作範囲検出回路117の別の実施例を示すもので、第4図の回路に、スレ

ーブ側関節の動作範囲の上限と下限を規定するメモリ122c, 122dと、比較器123c, 123dと、オフ回路128a, 128bとを付加し、入力信号として、スレーブ側関節の現在位置信号201を付加することによつて、マスタ側とスレーブ側の関節のいずれか一方でも動作範囲外に入れば、前述のようにスレーブ側関節を停止させて、同時にマスタ側関節に動作範囲内の方向に反力を発生させるようにしたものである。本実施例によれば、何らかの理由で、マスタ側とスレーブ側の位置の相似関係が崩れた状態でも、マスタ側、スレーブ側を問わずにどの関節が動作範囲外に入つた場合でもその復帰を容易に行えるという効果がある。

以上の実施例は、第1表に示した各動作モードM₁ ~ M_r (S₁ ~ S_r)を独立に規制することを前提としたものであるが、このモード複数個を考慮して規制することもできる。第7図は、本発明の他の実施例を示すもので、第3図に示される動作範囲検出回路117を、第7図に示される演

算処理ユニット140で置き換えたもので、動作モードM₂(S₂)の制限を目的としたものである。演算処理ユニット140は、座標演算ユニット141、空間微分演算ユニット142a、142b、論理演算ユニット143a、143bとオア回路144a、144bとから構成される。演算処理ユニット140の入力信号は、第3図の場合のように、肩関節の位置検出器42a又は42bの出力信号20のみでなく、肘関節の位置信号221も入力としており、その出力信号は、第3図と同様に動作範囲の上限を超えた事を示す論理信号242(信号206に対応)と、その下限を超えた事を示す論理信号244(信号207に対応)である。

以下、各部の動作について説明する。まず、第1図の肩関節12(22)、肘関節14(24)、及び手首関節16(26)の回転中心を、それぞれ第8図に示すように肩関節中心310、肘関節中心312、及び手首関節中心314とすると、これら3点は常に同一垂直面300内にある(この垂

$$\left. \begin{aligned} X_R &= L_1 \cos \theta_1 \\ &\quad + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ Y_R &= L_1 \sin \theta_1 \\ &\quad + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

ここで、 L_1 、 L_2 は点310と点312及び点312と点314の間の長さであつて、これらは第1図の上腕13(23)及び前腕15(25)の長さに相当した固定長である。従つて、第7図の座標演算ユニット141では、入力信号220、221で与えられる θ_1 、 θ_2 を用いて上式に基づく演算が実施され、 X_R に対応する信号240a、 Y_R に対応する信号240bが出力される。

空間微分演算ユニット142a、142bでは、肩関節 θ_1 に関する座標値 X_R 、 Y_R の微分値

$$\frac{\partial X_R}{\partial \theta_1} = -(L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)) \dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial Y_R}{\partial \theta_1} = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \dots\dots(3)$$

が、入力信号220(θ_1)、240a(X_R)、240b(Y_R)を用いて計算され、信号250a、

直面300は第1表に示したベース回転M₁又はS₁により回転する)。そこでこの垂直面300上に、肩関節中心310を原点(同じく310と呼ぶ)とし、この原点310から、肩関節の現在位置信号220が零の時の肘関節中心312へ向う直線を正のX軸方向とし、かつこの正のX軸方向を原点310を中心に反時計方向に90°回転した方向を正のY軸方向とする直交座標系を考える。そうすると一般に、肩関節の位置信号220は、肘関節中心312と原点310とを結ぶ直線313とX軸とのなす角 θ_1 で与えられる。また、肘関節の位置信号221が零のときに、手首関節中心314が直線313上にくるように初期条件を決めると、一般には位置信号221は、手首関節中心314と肘関節中心312とを結ぶ直線315と、直線313とのなす角 θ_2 で与えられる。そして第8図の直交座標系(X、Y)に関して、手首関節中心314の座標値(X_R 、 Y_R)は次のようになる；

250bとして出力される。

論理演算ユニット143aでは、 X_R 、 $\frac{\partial X_R}{\partial \theta_1}$ に対応する240a、250aを入力して論理演算が実行され、第2表に示すような論理信号246a、248aが出力される。但し、手首関節のX座標 X_R の動作範囲の上限を X_U 、下限を X_L とする。

第2表

入 力 条 件		出 力	
X_R の範囲	$\partial X_R / \partial \theta_1$ の範囲	246a	248a
1) X_L より小	正	0	1
2) X_L より小	負	1	0
3) X_L と X_U の間	任意	0	0
4) X_U より大	正	1	0
5) X_U より大	負	0	1

このような論理出力246a、248aの意味は次の通りである。入力条件のうち $\partial X_R / \partial \theta_1 > 0$ は、 θ_1 を増加させると X_R も増加する状態にあ

ることを示しており、 $\partial X_n / \partial \theta_1 < 0$ はその逆である。従つて例えば第2表の1)の場合は X_n が下限 X_L より小さいので、 X_n を増大させるために θ_1 を増大させる信号248aを1とする。これは第4図もしくは第6図の回路117で信号207を1として θ_1 を増大させる場合(θ_1 がその下限をこえたとき)と同じ動作である。同様に第2表の2)の場合は、 X_n を増大させるために θ_1 を減少させる信号246aを1とする。これは第4、6図の信号206の方を1とした場合(θ_1 がその上限をこえたとき)に対応する。3)の場合は制限動作は何もしない。4)、5)の場合も1)、2)と同様である。

論理演算ユニット143bでは、手首関節のY座標の動作範囲($Y_L < Y < Y_U$)に関して、論理演算ユニット143aと同じ処理がなされ、同様な意味の論理信号246b、248bが出力される。そして信号246a、246b及び248a、248bは、各々のオア回路144a、144bによつてその論理和がとられて、信号242、

244として出力される。

数値演算部140の最終出力信号242は、第3図の上限論理信号206として用いられ、同じく信号244は、下限論理信号207として用いられる。その他の回路の動作は、第3図で説明したものと同一である。この結果、手首関節の位置は、第9図に示すような長方形領域を動作範囲として有するようになり、第1表の回転モード M_2 、 M_3 、(S_2 、 S_3)を総合的に動作制限することができる。

本実施例によれば、手首関節の位置の動作範囲を、 X_L 、 X_U 、 Y_L 、 Y_U を適宜設定することにより任意の長方形領域内で規制できるが、この実施例と第3図で示した実施例と組み合わせることにより、例えば第10図の斜線で示すような領域50内をマニピュレータの動作範囲として規制することもできる。すなわち第3図の実施例のように、各関節の角度 θ_1 、 θ_2 (第8図参照)をそれぞれ個別に上下限値で規制して第10図の円弧状の領域境界をつくり、同時に第7図の実施例

のように、直角座標に変換して第10図の直線状の領域境界をつくり、これらのオア条件で規制(どちらかの境界をこえたとき規制)するようにすればよい。なお以上のような動作範囲検出回路117あるいは第7図の演算処理ユニットを含むサーボ演算器は、マイクロコンピュータ等により容易に実現可能である。

〔発明の効果〕

以上の説明から明らかなように、本発明によれば、動作範囲外に入つた関節を、マスタマニピュレータを操作する操作員に反力の形で教示でき、かつその反力によつてマニピュレータの各関節を自動的に動作範囲内に戻すことができるので、マニピュレータの動作範囲への復帰が容易になり、またマニピュレータの操作を中断させられることがなくなり、マニピュレータの操作性を大幅に向上できるという効果があり、同時に、マニピュレータの動作範囲外作動による故障を防止できるので、マニピュレータの信頼性の向上にも大きな効果がある。

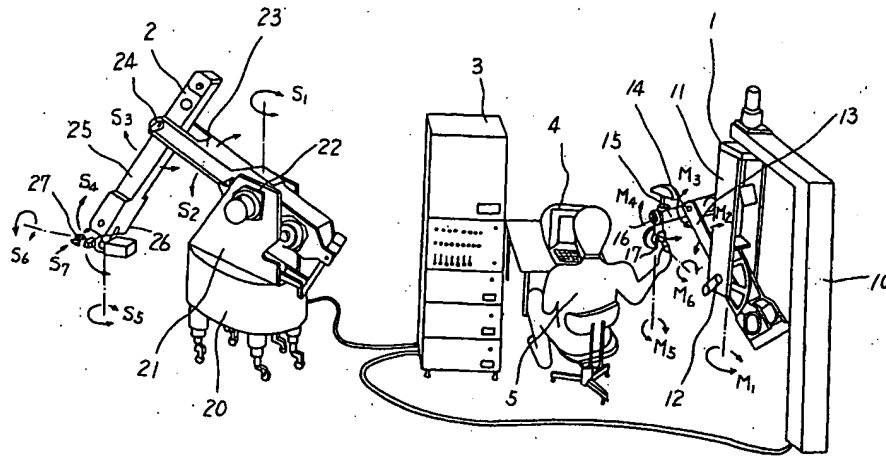
図面の簡単な説明

第1図は、本発明を適用するマスタ・スレーブ式マニピュレータの全体構成を示す図、第2図は第1図の内の制御系のブロック図、第3図は本発明の一実施例を示す図、第4図及び第5図は第3図の実施例のより詳細な部分詳細図、第6図は本発明の他の実施例を示す図、第8図及び第9図は第7図の実施例の動作説明図、第10図は第3図及び第7図の実施例を組合せた時の動作範囲を示す図である。

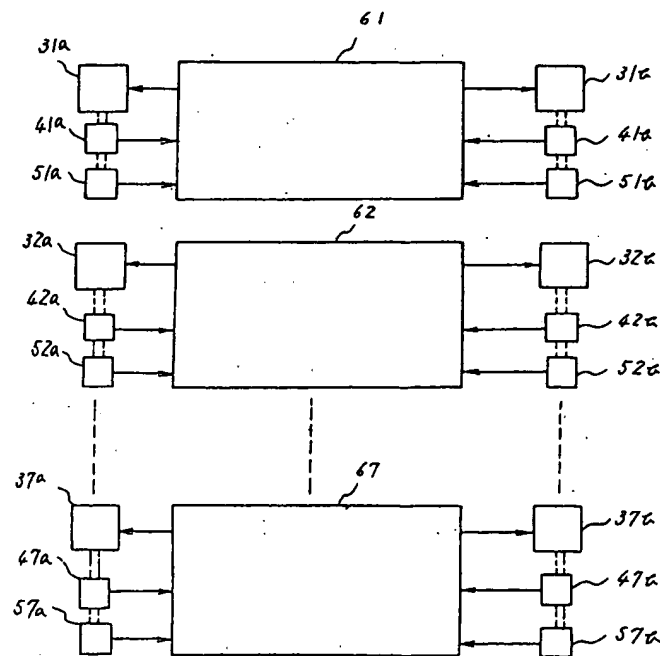
1…マスタマニピュレータ、2…スレーブマニピュレータ、3…制御装置、12、22…肘関節、14、24…肘関節、16、26…手首関節、31a、31b…モータ、41a、41b…位置検出器、51a、51b…力検出器、117…動作範囲検出回路、118…オアゲート、119…反力発生回路、120a、120b…切換スイッチ、121…ラッチ回路、127…動作範囲制限回路。

代理人 弁理士 秋本正実

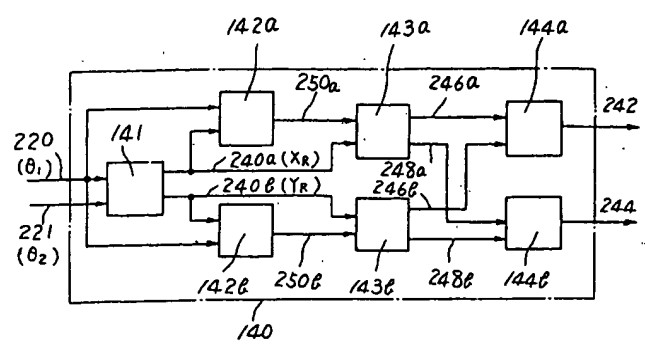
第 1 図



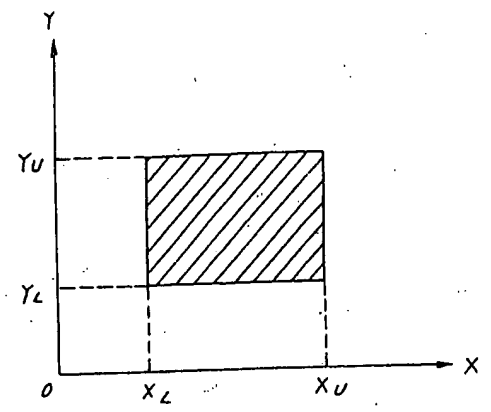
第 2 図



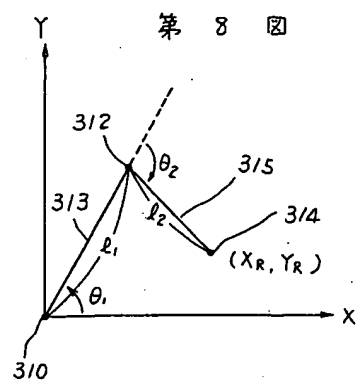
第 7 図



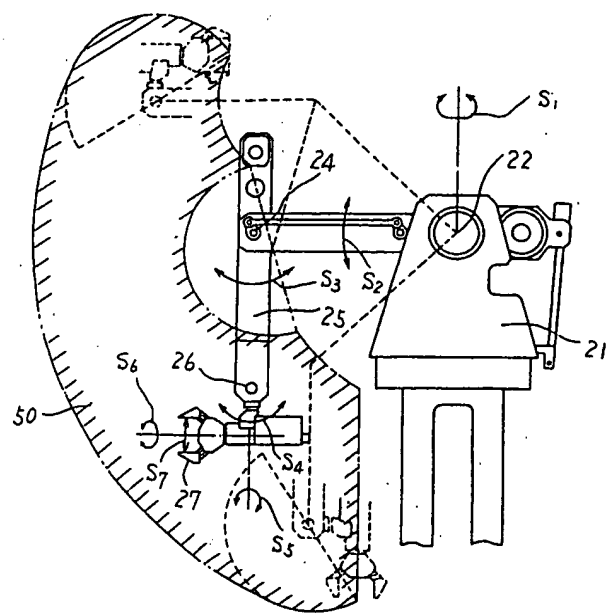
第 9 図



第 8 図



第 10 図



TRANSLATION FROM JAPANESE

- (19) Japanese Patent Office (JP)
- (11) Japanese Patent Application Kokai Publication No. **59-146770**
- (12) OFFICIAL GAZETTE FOR JAPANESE PATENT KOKAI APPLICATIONS (A)

(51)	Int. Cl. ³	Identification Symbol	JPO File Numbers
	B 25 J 3/04		7632-3F

- (43) Kokai Publication Date: August 22, 1984

Request for Examination: Not submitted

Number of Claims: 1

(Total of 10 Pages in the Original Japanese)

(54) Title of the Invention: **Operating Range Limiting Device for Manipulator**

(21) Application Filing No.: 58-17478

(22) Application Filing Date: February 7, 1983

(72) Inventor:

Masaaki Suzuki (as transliterated)

C/O Hitachi Limited Energy Research Laboratory

(72) Inventor:

Masuo Kasai (as transliterated)

C/O Hitachi Limited Energy Research Laboratory

(71) Applicant:

Hitachi Ltd.

1-5-1 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo

(74) Representative:

Patent Attorney Masami Akimoto (as transliterated)

Specification

Title of the Invention: Operating Range Limiting Device for Manipulator

Claims

1. A device for limiting, within a prescribed range, the motions of a manipulator, which comprises a slave side servo mechanism for implementing control such that, of the positioning signals indicating the position of each joint of an articulated master side manipulator and slave side manipulator having mutually corresponding joints, the positioning signals of the master side joints are treated as the target signals, and each slave side joint tracks each corresponding master side joint, and a master side servo mechanism for implementing control such that force signal displacements indicative of outside forces being applied to corresponding joints are treated as inputs, and an outside force applied to each slave side joint is transferred to each corresponding master side joint, [said] manipulator operating range limiting device being characterized in that there is provided for each set of corresponding joints of the master side and slave side a control system, comprising operating range detecting means for treating either one side or both sides of either one set or a plurality of sets of positioning signals of master side joints and slave side joints corresponding thereto as input positioning signals, storing thereinside an upper limit and a lower limit for determining an operating range corresponding to these input positioning signals, and when said input positioning signal exceeds either one of this upper limit or lower limit, turning ON a corresponding upper limit or lower limit switching signal; positioning signal switching means for updating and storing said target signals at each sampling when said upper limit and lower limit switching signals are both OFF, and when one of either said upper limit or lower limit switching signals is ON, holding a target signal stored at a sampling immediately prior to the point in time when this [signal turned] ON, and outputting [same] as a target signal of said slave side servo mechanism; reaction force generating means for generating a reaction force signal of a direction such that said input positioning signal returns to within said operating range when either said upper limit or lower limit switching signal turns ON; and force signal switching means for providing said reaction force signal as input to said master side servo mechanism in place of said force signal displacement when either of said switching signals turns ON.

Detailed Explanation of the Invention

(Field of Application of the Invention)

The present invention is related to an operating range limiting device for a manipulator, and more particularly to an operating range limiting device capable of limiting, to an appropriate range without losing operability, the operation of master-slave manipulators for implementing via remote control work that human workers cannot perform up close at nuclear power plants and the like.

(Prior Art)

A manipulator arm, as is widely known, is driven by joints, but the operating range thereof must be limited such that the arm does not collide with another mechanism element of the manipulator or another object. As a conventional example of such an operating range limiting mechanism for manipulator joints, there is, for example, Japanese Patent Laid-open No. 53-17880. This mechanism is [disposed] inside a positioning control system for controlling the joint angles of the arm, and compares a target signal of a joint angle of the arm against a positioning signal indicating the boundary value of the operating range, and if the target signal exceeds this boundary value, implements positioning control such that the target signal is held at the current value, and the joint angles of the arm are stopped at the current position. However, the problem with this method is that, when a joint angle moves outside the operating range, restoration is difficult because no mechanism is provided for restoring and normally operating the joints of the arm in the operating range once again.

Further, in the case of a master-slave manipulator, which is constituted such that the slave manipulator is operated remotely correspondent to the movements of the master manipulator by the manual operation of an operator, when a slave manipulator joint moves outside the operating range, the method whereby the operator is made aware of this by a lamp or the like on the control console is known. However, the problem with this method is that it is hard for an operator to figure out in what direction [the master manipulator] should be moved to get the joint to return to within the operating range while he is holding the tip of the master manipulator and operating it. In particular, when two or more of the joints move outside the operating range, restoring [these joints] to within the operating range becomes extremely difficult, making this problem even more serious. At the same time, another drawback is that the operator has to temporarily

discontinue working via remote control, and move his line of sight from the work-piece to a lamp or the like on the control console, causing operability to deteriorate.

(Purpose of the Invention)

An object of the present invention is to provide a master-slave manipulator operating range limiting device capable of easily and rapidly restoring the joint angles of a manipulator arm within the operating range when [these joint angles] move outside a pre-established operating range.

(Summary of the Invention)

The present invention is characterized in that functions, which, the instant either of the manipulator arms exceeds a pre-established operating range, stop the slave manipulator in that position, and simultaneously generate torque for moving the human-operated master manipulator in a direction toward the operating range, have been added, and, by sensing this torque as an impulsive force, the operator can easily detect the joint which exceeded the operating range, and the direction of operation for restoring this [joint within the operating range], thereby making it easy to restore each joint to the operating range.

(Embodiments of the Invention)

The embodiments of the present invention will be explained hereinbelow using the figures. Fig. 1 shows the overall constitution of a master-slave manipulator to which the present invention applies, and [this manipulator] is constituted from a master manipulator 1 and a slave manipulator 2 of mutually similar shapes, a controller 3, and a monitor television 4. The manipulators 1, 2 have a structure that resembles the arm of a human being, each having base portions 11, 21, upper arms 13, 23 linked to the base portions 11, 21 by shoulder joints 12, 22 located at the one end of the base portions, forearms 15, 25 linked to the upper arms 13, 23 by elbow joints 14, 24 located at the one end of the upper arms 13, 23, and wrist joints 16, 26 located at the tips of the forearms. The top end of the base portion 11 of the master manipulator 1 is linked to a frame 10, and the bottom end of the base portion 21 of the slave manipulator 2 is linked to a wheeled vehicle 20. A handle 17 comprising a finger portion is linked to the master wrist joint 16. A finger portion 27 is linked to the slave wrist joint 26. Manipulators 1 and 2, as

shown by the arrows in Fig. 1 and in Table 1, have seven degrees of freedom, M1 through M7 and S1 through S7. That is, M1 (S1) denotes the motion of the base portion 11 (21) relatively rotating around its central axis relative to the frame 10 (wheeled vehicle 20), and M2, M3 (S2, S3) denote the motions of the upper arm 13 (23) and forearm 15 (25) rotating in the vertical plane around the shoulder joint 12 (22) and elbow joint 14 (24), respectively. M4, M5, M6 (S4, S5, S6) denote rotation modes that enable the finger portion 17 (27) to assume arbitrary attitudes relative to the wrist joint 16 (26). M7 (S7) denotes the opening and closing motion of the fingers for grasping an object.

Table 1

No.	Operating Part	Master	Slave
I	Base Rotation	M ₁	S ₁
II	Upper Arm Swing (Around Shoulder Joint)	M ₂	S ₂
III	Forearm Swing (Around Elbow Joint)	M ₃	S ₃
IV	Wrist Up-Down Swing (PITCH)	M ₄	S ₄
V	Wrist Left-Right Swing (YAW)	M ₅	S ₅
VI	Wrist Rotation (ROLL)	M ₆	S ₆
VII	Finger Opening and Closing Motion (TONG)	M ₇	S ₇

Summaries of the operating methods and motions of a manipulator such as this are as follows. An operator 5 positions and controls a slave manipulator 2 by operating a master manipulator 1 while watching an image of the slave manipulator 2 displayed on a monitor television 4. Namely, by the operator 5 grasping the handle 17 and moving the tip of the master manipulator 1, the joints of the master manipulator move, and in line with this movement, the joints of the slave manipulator 2 track the joints of the master manipulator 1. As a result, since the attitudes of the joints of the master manipulator 1 and slave manipulator 2 are maintained in mutually similar shapes, it is possible for the operator 5 to intuitively tell the attitude of the slave manipulator from the attitude of the master manipulator. At the same time, since forces being applied to the slave manipulator 2 from outside are detected by force sensors and the like, and fed back to the motors driving the joints of the master manipulator 1, reaction forces corresponding to the outside forces are generated for each joint. As a result of this, the operator 5 can operate [the master manipulator 1] while feeling the forces acting on the slave manipulator 2.

The joint control mechanisms for achieving operation such as that described hereinabove are controlled independently for each mutually corresponding joint system of the master and slave as shown in Fig. 2. That is, the control mechanism for the base rotation joint system is constituted from a master base rotation motor 31a, position detector 41a and force detector 51a of the master manipulator 1 side, a slave base rotation motor 31b, position detector 41b and force detector 51b of the slave manipulator 2 side, and a servo computing element 61 inside the controller 3. Similarly, the rest, from the upper arm swing joint system constituted from a master shoulder joint motor 32a, position detector 42a, and force detector 52a of the master side, a slave upper arm swing motor 32b, position detector 42b, and force detector 52b of the slave side, and a servo computing element 62 inside the controller 3, to the finger opening-closing joint system comprising a master finger opening-closing motor 37a, position detector 47a, and force detector 57a of the master side, a slave finger opening-closing motor 37b, position detector 47b, and force detector 57b of the slave side, and a servo computing element 67 inside the controller 3, are of the same constitution. Although the external appearance of these joint control systems differs as shown in Fig. 1, the servo mechanisms, which constitute the basis of this control, are identical.

The operating range controllers of the present invention are incorporated inside the above-mentioned servo computing elements 61 through 67, but since they are the same for all joint systems, [these controllers] will be explained here using the embodiment of the base rotation joint system shown in Fig. 3. In Fig. 3, the master side mechanism portion is constituted from a motor 31a, which is linked to the joint shaft by a transfer mechanism comprising a reduction gear not shown in the figure; a force detector 51a for detecting axial torque acting on the joint shaft; and a position detector 41a for detecting the angle of rotation of the joint shaft. Further, the slave side mechanism portion is constituted the same as that of the master side, and has a motor 31b, force detector 51b and position detector 41b. The circuits of Fig. 3 other than these mechanism portions belong to the servo computing element, and are constituted from a subtracter 113 for calculating the difference of output signals 203, 204 of force detectors 51a, 51b; a subtracter 114 for subtracting a current position signal 201 and a slave position target signal 209; a PID control circuit 115; amplifiers 116a, 116b for driving the master side and slave side motors; and an operating range limiting circuit 127 (inside the chain line), which constitutes the present invention. Operating range limiting circuit 127 is constituted from an operating range detecting circuit 117; a reaction force generating circuit 119 of a gate circuit 118; a switch

120a for switching an output signal 210 of the reaction force generating circuit 119 and a force displacement signal 205; a switch 120b for switching a master current position signal 200 and a signal 209b that latches a slave target signal; and a latching circuit 121 for latching a slave target signal 209.

Operating range detecting circuit 117 is constituted from a memory 122a for stipulating the upper limit of an operating range as shown in Fig. 4; a memory 122b for stipulating the lower limit thereof; and comparators 123a, 123b for comparing each of an upper limit signal 211 and lower limit signal 212 outputted from these respective memories against a master current position signal 200. Reaction force generating circuit 119 is constituted from memories 124a, 124b for stipulating the size of a reaction force acting in the direction of within the operating range as shown in Fig. 5; switches 125a, 125b for switching ON and OFF the output of the respective output signals 213, 214 thereof; and an adder 126 for adding the output signals of these switches.

The operation of the joint systems shown in Fig. 3 through Fig. 5 will initially be explained hereinbelow based on the operation of a force feedback-type bilateral servo system. The positions of the master side joint angles and the positions of the slave side joint angles are respectively detected by position detectors 41a, 41b as current position signals 200, 201, and are converted to a position displacement signal 202 via subtracter 114 ([Switch] 120b selects signal 200 at this time). Position displacement signal 202 is inputted to motor 31b by way of PID control circuit 115 and amplifier 116b. By so doing, motor 31b operates, position signal 210 changes, and position displacement signal 202 is eventually controlled so as to constitute 0. Consequently, when an operator manipulates the master side joints, the slave side joints are positioned and controlled so as to move by tracking the master side joints.

At the same time, forces applied from outside to the master side and slave side are detected by respective force detectors 41a, 41b as current torque signals 203, 204, and are converted to a torque displacement signal 205 via subtracter 113. Torque displacement signal 205 is inputted to motor 31a by way of switch 120a and amplifier 116a. Therefore, motor 31a is controlled such that torque displacement signal 205 becomes 0. As a result of this, a force applied to the slave side from outside is transferred to the master side, and the operator can feel the force being applied to the slave side in the form of a reaction force.

Next, the operation of the operating range limiting device, which forms the essential part of the present invention, will be explained. The upper limits and lower limits of the operating ranges of the master side joint angles (the boundary values of each operating range) are written into each of memories 122a, 122b of Fig. 4 beforehand, these output signals 211, 212 are inputted into comparators 123a, 123b, and the current position signals 200 of the master side joints are inputted into comparators 123a, 123b. When a master side current position signal 200 is greater than the upper limit signal 211, the logic signal 206 of comparator 123a constitutes 1. When it is anything else, [the logic signal] remains 0 as-is. Similarly, when a master side current position signal 200 is less than the lower limit signal 212, the logic signal 207 of comparator 123b becomes 1, and when it is anything else, [this logic signal] remains 0 as-is. These logic signals 206, 207 are inputted into the reaction force generating circuit shown in Fig. 5, and when the master side joints are within the operating range, they are used as the gate signals of switches 125a, 125b, which cut off the reaction force signals 213, 214. Further, logic signals 206 and 207 are used as gate signals 208 of switches 120a, 120b by way of OR circuit 118 of Fig. 3. If the master side joint angles are within the operating range, logic signals 206, 207, which are the outputs of operating range detecting circuit 117, are both in the 0 state as described hereinabove, gate signal 208, which is the output of OR circuit 118, is also in the 0 state, switch 120a makes torque displacement signal 205 its output signal 215, and switch 120b makes the master current position signal 200 the slave target position signal 209, which is its output. As a result of this, the above-mentioned force feedback-type bilateral servo system is constituted as the overall servo system, and the manipulator is in a normal operating state. However, if a master joint angle exceeds the upper limit of the operating range, logic signal 206 becomes 1, and gate signal 208 also constitutes the 1 state. At this time, switch 120b cuts off master current position signal 200, and outputs the output signal 209b of latching circuit 121. This output signal 209b latches the value of the slave target position signal 209 immediately prior to the master joint having moved outside the operating range, and since it is outputted as the slave target position signal 209 until the master joint returns within the operating range and gate signal 208 becomes 0, the slave side joint is positioned and controlled so as to stop at the current position (the position immediately prior to the master joint having moved outside the operating range), and the slave joint does not move outside the operating range. Since logic signal 206 becomes 1 at the same time, switch 125a inside the reaction force generating circuit 119 transitions to the ON state (Fig.

5), and reaction force command signal 213 is outputted via adding circuit 126 as the output signal 210 of reaction force generating circuit 119. Then, as a result of gate signal 208 becoming 1, switch 120a cuts off torque displacement signal 205, and outputs reaction force command signal 210 as a torque command signal 215. Consequently, master side motor 31a is controlled such that a constant torque is generated in the direction of the operating range until the master side joint is once again within the operating range. Therefore, by sensing this torque, an operator can readily manipulate [the master manipulator] in the restoration direction (For example, easing up on his force, and moving [the master manipulator] in the direction in which it is naturally moving in accordance with the torque.). Since processing is exactly the same when a master side joint exceeds the lower limit of the operating range, this explanation will be omitted.

The effects according to this embodiment are that, when a master side joint moves outside the operating range stipulated by the master side joint angle, the slave side joint is automatically prevented from moving outside the appointed operating range, and [the master side manipulator] can also be easily manipulated so that the master side joint returns within the operating range. Further, as a variation of the present invention, the same effects can be obtained even if [the present invention] is constituted such that the slave side joint current position signal 201 is utilized in place of the master side joint current position signal 200 as the input signal of the operating range detecting circuit 117 shown in Fig. 4.

Fig. 6 shows another embodiment of the operating range detecting circuit 117 of Fig. 3, and by adding memories 122c, 122d for stipulating the upper limit and lower limit of the operating range of the slave side joints, comparators 123c, 123d, and OR circuits 128a, 128b to the circuit of Fig. 4, and adding the slave side joint current position signal 201 as an input signal, the constitution is such that, if either one of the master side or slave side joints is outside the operating range, the slave side joint is made to stop as described hereinabove, and at the same time, a reaction force is generated in the direction of the operating range in the master side joint. The effect according to this embodiment is that, even if the analogous relationship of the positions of the master side and slave side should break down for some reason or another, when any joint, regardless of whether it is on the master side or the slave side, is outside of the operating range, it can readily be restored therewithin.

The above embodiments are premised on the fact that the operating modes M1 through Mr (S1 through Sr) described in Table 1 are controlled independently, but a plurality of these modes can also be taken into consideration and controlled. Fig. 7 shows another embodiment of the present invention, and [this embodiment] replaces the operating range detecting circuit 117 shown in Fig. 3 with the processing unit 140 shown in Fig. 7, and has as an object the limiting of operating mode M2 (S2). Processing unit 140 is constituted from a coordinate computing unit 141, space differential computing units 142a, 142b, logic operation units 143a, 143b, and OR circuits 144a, 144b. The input signal for the processing unit 140 is not only the output signal 20 of either shoulder joint position detector 42a or 42b, but the elbow joint position signal 221 is also treated as input, and the output signals thereof, the same as in Fig. 3, are logic signal 242 (corresponds to signal 206), which indicates that [a joint] has exceeded the upper limit of the operating range, and logic signal 244 (corresponds to signal 207), which indicates that [a joint] has exceeded the lower limit thereof.

The operation of each part will be explained hereinbelow. Firstly, if the centers of rotation of the shoulder joint 12 (22), elbow joint 14 (24) and wrist joint 16 (26) of Fig. 1, respectively, are treated as the pivot point of the shoulder joint 310, the pivot point of the elbow joint 312, and the pivot point of the wrist joint 314 as shown in Fig. 8, these three points are constantly within the same perpendicular plane 300 (This perpendicular plane 300 rotates in accordance with either base rotation M1 or S1 described in Table 1.). Accordingly, it is assumed that a rectangular coordinate system [lies] on this perpendicular plane 300, wherein the shoulder joint pivot 310 is treated as the origin (similarly called 310), a straight line, which extends from this origin 310 toward the elbow joint pivot 312 when the current position signal 220 of the shoulder joint is zero, is treated as the positive X-axis direction, and the direction in which this positive X-axis direction is rotated 90 degrees in the counterclockwise direction having origin 310 as the center is treated as the positive Y-axis direction. In general, then, shoulder joint position signal 220 is furnished by the angle θ_1 formed by the X-axis and a straight line 313 linking the elbow joint pivot 312 and origin 310. Further, when the position signal 221 of the elbow joint is zero, once the initial condition for the wrist joint pivot 314 extending to straight line 313 has been determined, position signal 221 is generally furnished by the angle θ_2 formed by straight line 313 and a straight line 315 linking the elbow joint pivot 312 to the wrist joint

pivot 314. Then, the coordinates (X_R , Y_R) of the wrist joint pivot 314 relative to the rectangular coordinate system (X , Y) of Fig. 8 are as follows:

$$\begin{aligned} X_R &= \delta_1 \cos \theta_1 + \delta_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \\ Y_R &= \delta_1 \sin \theta_1 + \delta_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \dots (1) \end{aligned}$$

Here, δ_1 , δ_2 are the distances between point 310 and point 312, and point 312 and point 314, and these are fixed lengths equivalent to the lengths of the upper arm 13 (23) and forearm 15 (25) of Fig. 1. Therefore, computations based on the above equation are carried out by the coordinate computing unit 141 of Fig. 7 using θ_1 , θ_2 , which are furnished by input signals 220, 221, and signal 240a, which corresponds to X_R , and signal 240b, which corresponds to Y_R , are outputted.

In the space differential computing units 142a, 142b, the differential values of coordinates X_R , Y_R as they relate to shoulder joint θ_1

$$\begin{aligned} \sigma X_R / \sigma \theta_1 &= - \{ (\delta_1 \sin \theta_1 + \delta_2 \sin (\theta_1 + \theta_2)) \} \dots (2) \\ \sigma Y_R / \sigma \theta_1 &= \delta_1 \cos \theta_1 + \delta_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \dots (3) \end{aligned}$$

are calculated using input signals 220 (θ_1), 240a (X_R) and 240b (Y_R), and are outputted as signals 250a, 250b.

A logic operation is executed in logic operation unit 143a by inputting 240a, 250a, which correspond to X_R , $\sigma X_R / \sigma \theta_1$, and, as shown in Table 2, logic signals 246a, 248a are outputted. It is supposed that the upper limit of the operating range of the X coordinate X_R of the wrist joint is X_U , and the lower limit is X_L .

Table 2

Input Conditions		Output	
X_R Range	$\sigma X_R / \sigma \theta_1$ Range	246a	248a
1) Less than X_L	Positive	0	1
2) Less than X_L	Negative	1	0
3) Between X_L and X_U	Optional	0	0
4) Greater than X_U	Positive	1	0
5) Greater than X_U	Negative	0	1

The significance of logic outputs 246a, 248a such as these is as follows. Of the input conditions, $\sigma X_R / \sigma \theta_1 > 0$ indicates a state wherein when θ_1 increases, X_R also increases, and $\sigma X_R / \sigma \theta_1 < 0$ indicates the reverse thereof. Therefore, in the case of 1) in Table 2, for example, since X_R is less than lower limit X_L , signal 248a, which increases θ_1 , is set to 1 in order to increase X_R . This is the same operation as when θ_1 is increased by setting signal 207 to 1 in circuit 117 of either Fig. 4 or Fig. 6 (when θ_1 has exceeded the lower limit). Similarly, in the case of 2) in Table 2, signal 246a, which decreases θ_1 , is set to 1 in order to increase X_R . This corresponds to when signal 206 of Fig. 4 and Fig. 6 is set to 1 (when θ_1 has exceeded the upper limit). No limiting operation is carried out in the case of 3). The operations for 4) and 5) are the same as those for 1) and 2).

The same processing as that of logic operation unit 143a is carried out in logic operation unit 143b for the operating range of the Y coordinate of the wrist joint ($Y_L < Y < Y_U$), and logic signals 246b, 248b are outputted for the same reasons. Then, the logic sums of signals 246a, 246b and 248a, 248b are derived via the respective OR circuits 144a, 144b, and are outputted as signals 242, 244.

The final output signal 242 of the numerical processing unit 140 is used as the upper limit logic signal 206 of Fig. 3, and similarly, signal 244 is used as the lower limit logic signal 207. The operations of the other circuits are the same as those explained for Fig. 3. As a result, the position of the wrist joint will have a rectangular area such as that shown in Fig. 9 as the operating range, and the operation of rotation modes M_2, M_3 (S_2, S_3) of Table 1 can be synthetically limited.

According to this embodiment, it is possible to control the operating range of the position of the wrist joint within an arbitrary rectangular area by appropriately setting X_L , X_U , Y_L , and Y_U , and by combining this embodiment with the embodiment shown in Fig. 3, for example, it is also possible to control the operating range of a manipulator within an area 50 such as that indicated by the diagonal lines in Fig. 10. That is, [the present invention] can be constituted such that the circular arc-shaped area boundaries of Fig. 10 are created by controlling the angles θ_1 , θ_2 of the joints (See Fig. 8) using separate upper and lower limit values for each as in the embodiment of Fig. 3, and at the same time, the linear area boundary of Fig. 10 is created by converting [these angles] to rectangular coordinates, and controlling these using OR conditions (control when either boundary is exceeded) as in the embodiment of Fig. 7. Furthermore, a servo computing element comprising either an operating range detecting circuit 117 like the above, or the processing unit of Fig. 7, can be easily achieved using a microcomputer or the like.

(Effects of the Invention)

As is evident from the above explanation, according to the present invention, since an operator manipulating a master manipulator can be taught, in the form of a reaction force, that a joint is outside the operating range, and can automatically restore each of the manipulator's joints to within the operating range by virtue of this reaction force, the effects are that returning the manipulator to the operating range becomes easy, and the need to discontinue manipulator operation is eliminated, thus enabling manipulator operability to be greatly enhanced, and since it is possible at the same time to prevent accidents resulting from a manipulator operating outside its operating range, another significant effect is the enhancement of manipulator reliability.

Brief Explanation of the Drawings

Fig. 1 is a diagram showing the overall constitution of a master-slave manipulator to which the present invention applies; Fig. 2 is a block diagram of the control system in Fig. 1; Fig. 3 is a diagram showing an embodiment of the present invention; Fig. 4 and Fig. 5 are partial detailed views of the embodiment of Fig. 3 in more detail; Fig. 6 and Fig. 7 are diagrams showing other embodiments of the present invention; Fig. 8 and Fig. 9 are diagrams illustrating the operation of the embodiment of Fig. 7; and Fig. 10 is a diagram showing the operating range when the embodiments of Fig. 3 and Fig. 7 have been combined.

1 ... MASTER MANIPULATOR, 2 ... SLAVE MANIPULATOR; 3 ... CONTROLLER; 12, 22 ... SHOULDER JOINTS; 14, 24 ... ELBOW JOINTS; 16, 26 ... WRIST JOINTS; 31a, 31b ... MOTORS; 41a, 41b ... POSITION DETECTORS; 51a, 51b ... FORCE DETECTORS; 117 ... OPERATING RANGE DETECTING CIRCUIT; 118 ... OR GATE; 119 ... REACTION FORCE GENERATING CIRCUIT; 120a, 120b ... SWITCHES; 121 ... LATCHING CIRCUIT; 127 ... OPERATING RANGE LIMITING CIRCUIT.

Representative: Patent Attorney Masami Akimoto (as transliterated)

Fig. 1

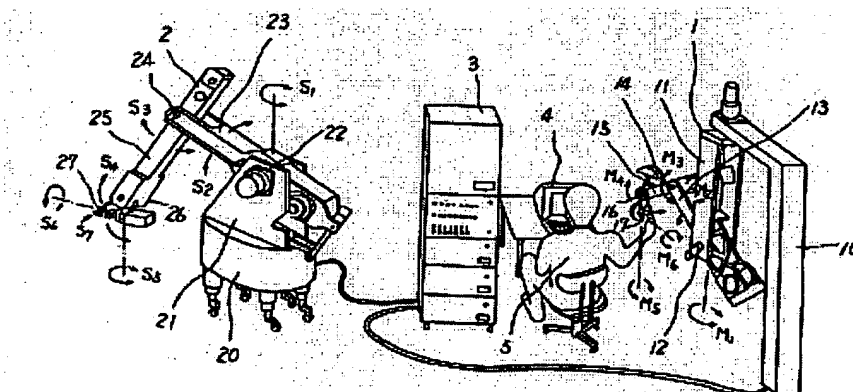


Fig. 2

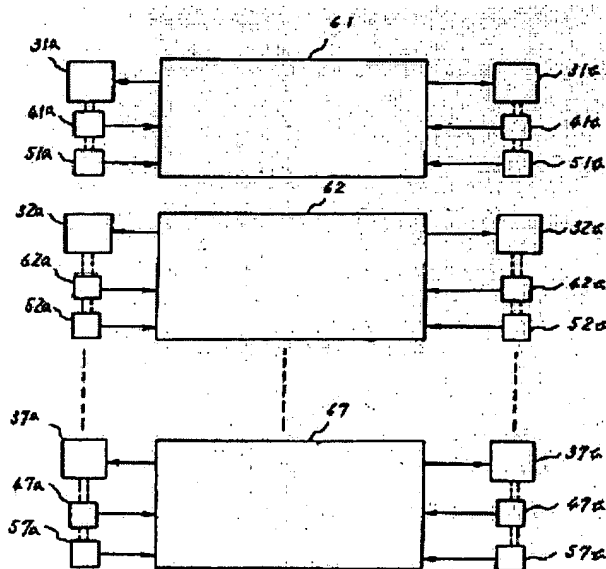


Fig. 3

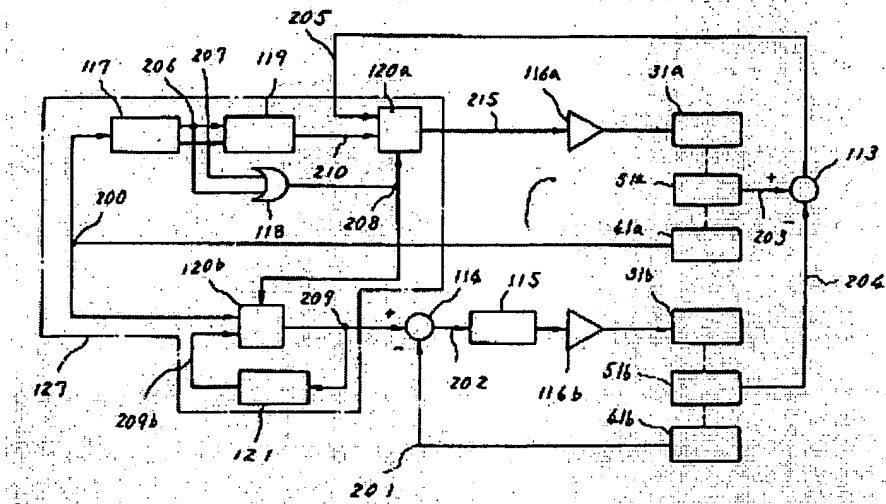


Fig. 4

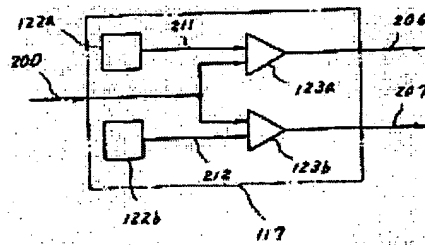


Fig. 5

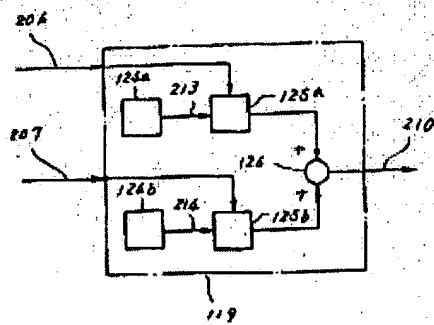


Fig. 6

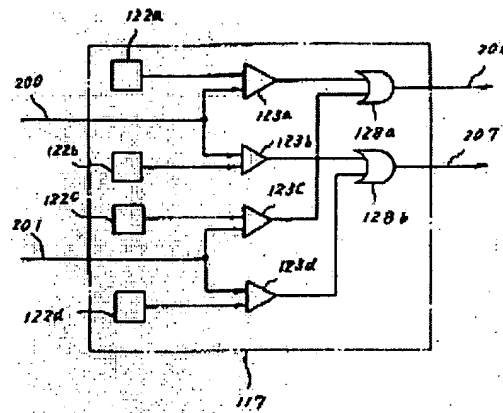


Fig. 7

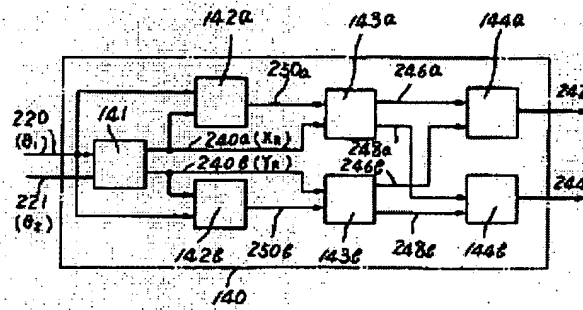


Fig. 8

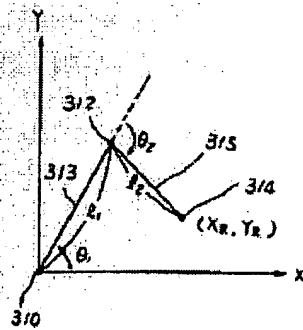


Fig. 9

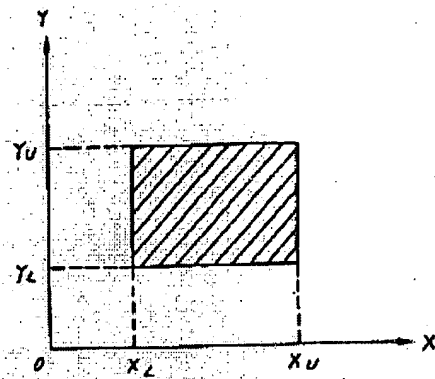


Fig. 10

